

Rec'd 10/509598
28 SEP 2004
PCT/IB-03/01226

09.05.03



Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

Office européen
des brevets

REC'D 16 MAY 2003

WIPO

PCT

Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterla-
gen stimmen mit der
ursprünglich eingereichten
Fassung der auf dem näch-
sten Blatt bezeichneten
europäischen Patentanmel-
dung überein.

The attached documents
are exact copies of the
European patent application
described on the following
page, as originally filed.

Les documents fixés à
cette attestation sont
conformes à la version
initialement déposée de
la demande de brevet
européen spécifiée à la
page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

02076428.8

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

Der Präsident des Europäischen Patentamts;
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

R C van Dijk

DEN HAAG, DEN
THE HAGUE,
LA HAYE, LE

20/03/03

BEST AVAILABLE COPY



Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

Office européen
des brevets

**Blatt 2 der Bescheinigung
Sheet 2 of the certificate
Page 2 de l'attestation**

Anmeldung Nr.:
Application no.:
Demande n°: 02076428.8

Anmeldetag:
Date of filing: 28/03/02
Date de dépôt:

Anmelder:
Applicant(s):
Demandeur(s):
Koninklijke Philips Electronics N.V.
5621 BA Eindhoven
NETHERLANDS

Bezeichnung der Erfindung:
Title of the invention:
Titre de l'invention:
NO TITLE

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed / Priorité(s) revendiquée(s)

Staat:
State:
Pays:

Tag:
Date:
Date:

Aktenzeichen:
File no.
Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation:
International Patent classification:
Classification Internationale des brevets:

/

Am Anmeldetag benannte Vertragsstaaten:
Contracting states designated at date of filing:
Etats contractants désignés lors du dépôt:

AT/BE/CH/CY/DE/DK/ES/FI/FR/GB/GR/IE/IT/LI/LU/MC/NL/PT/SE/TR

Bemerkungen:
Remarks:
Remarques:

SEE FOR ORIGINAL TITLE PAGE 1 OF THE DESCRIPTION

Nanodraad en elektronische inrichting

De uitvinding heeft betrekking op een nanodraad met axiaal gerangschikt een eerste en een tweede gebied, welke aan elkaar grenzen.

De uitvinding heeft tevens betrekking op een elektronische inrichting voorzien van een eerste en een tweede elektrode, die onderling verbonden zijn met ten minste één
5 nanodraad.

De uitvinding heeft eveneens betrekking op werkwijzen voor het vervaardigen van nanodraden.

De uitvinding heeft voorts betrekking op een dispersie van nanodraden.

10 Nanodraden zijn draden van een veelal halfgeleidend materiaal met een diameter van minder dan 100 nm. Ze worden beschouwd als bouwstenen voor toekomstige elektronische en optoelektronische elementen. De nanodraden hebben als voordeel dat dimensionele beperkingen tengevolge van het fotolithografisch patroneren minder relevant worden. Bovendien hebben de nanodraden andere eigenschappen dan eenheden van hetzelfde
15 materiaal van grotere dimensies vanwege kwantisatie-effecten, zoals een niet-ohmse weerstand.

Een dergelijke nanodraad en een dergelijke inrichting zijn bekend uit Gudiksen et al., *Nature*, 415(2002), 617-620. De bekende nanodraad bevat een eerste gebied dat p-type gedoteerd is en aangrenzend in axiale richting van de nanodraad een tweede gebied dat n-
20 type gedoteerd is. Tussen de twee gebieden is een p-n-overgang aanwezig. De nanodraad heeft een diameter van 20-50 nanometer en bevat halfgeleidende materialen in twee variaties, zoals GaP en GaAs; n-type en p-type gedoteerd Si en dito InP. De elektronische inrichting met de draad kan toegepast worden als een light-emitting diode en als gelijkrichter.

Het is een nadeel van de bekende nanodraad dat de beloften van de nanoelectronica in
25 wezen niet vervuld worden. De bekende draad vervult bekende functies op miniatuurschaal, maar maakt geen gebruik van de mogelijkheden van kwantisatie, die een in twee dimensies beperkte nanodraad biedt.

PHNL020286EPP

2

28.03.2002

Het is zodoende een eerste doel van de uitvinding om een nanodraad te verschaffen, waarin de mogelijkheden van de kwantisatie gerealiseerd worden.

Het is een tweede doel van de uitvinding om een elektronische inrichting van de in de aanhef genoemde soort te verschaffen met de nanodraad volgens de uitvinding.

5 Het is een derde doel van de uitvinding om een dispersie te verschaffen van de nanodraden volgens de uitvinding.

10 Het eerste doel is gerealiseerd in een nanodraad met axiaal gerangschikt een eerste, een tweede en een derde gebied, waarin het tweede gebied grenst aan het eerste en aan het derde gebied en in axiale richting een lengte van minder dan 100 nm heeft; en het tweede gebied een grotere diameter heeft dan het eerste en het derde gebied.

Het tweede doel is daardoor gerealiseerd, dat nanodraad volgens de uitvinding aanwezig is als verbinding tussen de eerste en de tweede elektrode.

15 Het derde doel is gerealiseerd in een dispersie van de nanodraden volgens de uitvinding in een dispergeermiddel.

20 In de nanodraad volgens de uitvinding is het tweede gebied ingebouwd zodanig dat het een kleinere bandgap heeft. Hierdoor wordt gerealiseerd dat het voor een ladingsdrager – in casu een elektron of een gat – het energetisch meest gunstig is om zich in dit gebied te bevinden. Het gevolg hiervan is dat de elektronenverdeling in de draad heel bewust gestuurd kan worden met behulp van de elektroden van de inrichting: onder bepaalde omstandigheden zit de ladingsdrager vast in het tweede gebied, en is er geen geleiding tussen de eerste en de tweede elektrode mogelijk. Onder andere omstandigheden wordt de ladingsdrager energetisch gestimuleerd, zodat het de energiebarrière van het tweede gebied kan overwinnen. Dan is er geleiding tussen de eerste en de tweede elektrode mogelijk.

25 Hiermee worden nieuwe elektrische en optoelektrische elementen op een relatief eenvoudige wijze gerealiseerd. Voorbeelden hiervan zijn de 'single electron transistor', die als een digitale transistor kan functioneren; het 'quantum dot'-geheugen, waar op nanoschaal en digitaal gegevens opgeslagen kunnen worden; en een opto-elektronisch recombinatiecentrum.

30 In een eerste uitvoeringsvorm van de nanodraad volgens de uitvinding hebben het eerste en derde gebied in radiële richting een gemiddelde diameter van ten hoogste 10 nm en heeft het tweede gebied in radiële richting een grotere diameter. In het tweede gebied wordt de tweedimensionale kwantisatie ten minste gedeeltelijk opgeheven. Dat houdt in dat er meer energieniveau's aanwezig zijn in de elektronenbanden van het kristal. Het aantal niveau's k is

namelijk evenredig met de extensie van het kristal volgens $k = N\pi/a$, waarin a de onderlinge afstand van de atomen is en N het aantal atomen in een bepaalde (kristal)richting. In het tweede gebied is het aantal atomen N in radiële richting groter dan in het eerste en het derde gebied. Dat houdt in dat er meer energieniveau's zijn. De kwantisatie, die in wezen het niet-
5 overlappen van de verschillende energieniveau's inhoudt, is zodoende niet of afgezwakt aanwezig. Dat houdt in dat de bandgap - dus de afstand tussen een bezet energieniveau en het eerstvolgende niet bezette energieniveau - kleiner is en dus dat een ladingsdrager meer kans heeft om af te dalen naar een lager energieniveau.

Het is gunstig wanneer de locale, ten minste gedeeltelijke opheffing van de
10 tweedimensionale kwantisatie beperkt is tot een gering gebied. Bij voorkeur heeft het tweede gebied daarom in axiale richting een geringe lengte van 20 nanometer of minder. In radiële richting is de diameter bij voorkeur kleiner dan 50 nanometer, en bij verdere voorkeur ongeveer van gelijke grootte als de lengte van het tweede gebied. Het is voorts gunstig dat het eerste en het derde gebied een zeer geringe diameter hebben van minder dan 10 nm, bij
15 verdere voorkeur van minder dan 5 nanometer. De lengte in axiale richting van het eerste en derde gebied is bij voorkeur groter dan 10 nm, bij verdere voorkeur groter dan 50 nm en kleiner dan 2000 nm. Een nanodraad met een dergelijke lengte en een zeer geringe diameter is vervaardigbaar en stabiel. Een nanodraad met een dergelijke lengte is bovendien goed te hechten op een elektrodenstructuur.

20 In de nanodraad volgens de uitvinding is het niet noodzakelijk dat het eerste en het derde gebied een substantieel gelijke diameter hebben. De enige voorwaarde is dat er in het eerste en het derde gebied kwantisatie-effecten aanwezig zijn. Het kan juist een voordeel zijn om de nanodraad asymmetrisch uit te voeren, bijvoorbeeld om een gelijkrichterfunctie te realiseren. De diameter van het eerste gebied is dan bijvoorbeeld 5 nanometer, terwijl de
25 diameter van het derde gebied bijvoorbeeld 10 nanometer is.

In een verdere uitvoeringsvorm van de nanodraad volgens de uitvinding is voorts een vierde en een vijfde gebied aanwezig, in welk vierde gebied de kwantisatie ten minste gedeeltelijk is opgeheven door een grotere diameter en/of een ander structureel verschil, en welk vijfde gebied wel kwantisatie-effecten vertoont. Het is dus mogelijk om in de nanodraad
30 volgens de uitvinding een structuur te definiëren, die meer dan een enkele onderbreking van de kwantisatie inhoudt. Een dergelijke structuur is bijvoorbeeld gunstig als "multiple quantum dot" waarbij een discreet aantal toestanden opgeslagen kan worden. Op deze wijze is het mogelijk om een nieuw type digitaal geheugen op te bouwen.

In een verdere uitvoeringsvorm van de nanodraad volgens de uitvinding bevat de nanodraad in het tweede gebied met de grotere diameter een ander materiaal met een kleinere bandgap dan in het eerste en het derde gebied. Een voorbeeld daarvan is dat het eerste en het derde gebied Si bevatten en het tweede gebied SiGe. Anderszins kan het tweede gebied SiC bevatten. Het kan ook zijn dat het SiGe tevens C bevat. Het gebruik van materiaal met een kleinere bandgap in het tweede gebied versterkt het effect van het gedeeltelijke opheffen van de kwantisatie.

In een andere uitvoeringsvorm van de nanodraad volgens de uitvinding bevat de nanodraad in het tweede gebied een andere dotering dan in het eerste en het derde gebied. Een voorbeeld hiervan is bijvoorbeeld een p-type dotering in het tweede gebied en een n-type dotering in het eerste en het derde gebied. Hierdoor ontstaat een p-n-p junctie of transistor, waarbij de kwantisatie in het n-gebied gedeeltelijk is opgeheven. Dit maakt het mogelijk om de eigenschappen van het n-gebied te optimaliseren voor het in- en/of uitkoppelen van licht. Wanneer het tweede gebied een iets grotere lengte heeft, bijvoorbeeld in de orde van 80 nm, is het bovendien goed mogelijk om aan het tweede gebied contacten te definiëren. Dit is bijvoorbeeld mogelijk met fotolithografische technieken. In analogie geldt hetzelfde voor een n-p, in het bijzonder een n-p-n junctie of transistor. Een dergelijke junctie is zeer goed toepasbaar als licht-emitterende diode (LED). De recombinatie van ladingsdragers vindt in een LED namelijk bij voorkeur plaats in het p-type gebied; een kleinere bandgap voor dit gebied resulteert in een hogere efficiëntie.

Het is een verder voordeel van een dergelijke nanodraad, waarbij het tweede gebied met een grotere diameter en bovendien een ander materiaal of een andere dotering bevat, dat deze goed vervaardigbaar is met etstechnieken. De gebruikte etsmiddelen hebben een afwijkende etssnelheid ten opzichte van het andere materiaal of de andere dotering, met als gevolg een variatie van de verkregen diameter. Dat geldt in het bijzonder voor anodisch etsen en voor het thermisch oxideren en na-etsen van de nanodraden bij verhoogde temperatuur.

Het heeft voorts de voorkeur dat de overgang tussen het eerste en het tweede, en tussen het tweede en het derde gebied abrupt is. Het resultaat van zo'n abrupte overgang is dat het tweede gebied een cilindrische vorm heeft. Het vormen van een dergelijke abrupte overgang is mogelijk door goede beheersing van het vervaardigingsproces. Het kan ook wenselijk zijn om het tweede gebied een ovale of ronde vorm te geven door een geleidelijke overgang van het eerste naar het tweede gebied en van het derde naar het tweede gebied te realiseren.

De nanodraad volgens de uitvinding bevat bij voorkeur een of meer halfgeleidende materialen. Voorbeelden zijn onder meer Si, SiC, SiGe, GaAs, InP, InAsP. Het is anderszins mogelijk dat het eerste en het derde gebied een metallisch materiaal bevatten, en het tweede gebied een halfgeleidend materiaal bevat.

5 Behalve dat de nanodraden toegepast worden voor specifieke functies in een grotere schakeling, is een gehele schakeling op basis van nanodraden realiseerbaar. Bij voorkeur vormen de elektroden daarin de contacten waarop de verschillende nanodraden aangesloten worden. Anderszins kunnen de nanodraden gebruikt worden voor losse transistoren, bijvoorbeeld in dunnefilmtransistoren die zorgen voor de aansturing van beeldschermpixels.

10 In een gunstige uitvoeringsvorm van de inrichting volgens de uitvinding is de nanodraad met een eerste, tweede, derde, vierde en vijfde gebied aanwezig, waarbij in het tweede gebied en in het vierde gebied de kwantisatie ten minste gedeeltelijk onderbroken is. Voorts zijn een eerste en een tweede gate elektrode aanwezig. De eerste en de tweede gate elektrode zijn met een diëlektrische laag gescheiden van de nanodraad en zijn onderling niet-
15 elektrisch geleidend verbonden. Daarbij heeft een loodrechte projectie van de eerste gate elektrode op de nanodraad een overlap met het tweede gebied en heeft een loodrechte projectie van de tweede gate elektrode op de nanodraad een overlap met het vierde gebied. Op deze wijze wordt een transistoren met verscheidene gate-elektroden verkregen. Elk van de gate-elektroden stuurt daarbij een gebied van de nanodraad aan met een kleinere bandgap
20 en waarin de kwantisatie gedeeltelijk opgeheven is. Om de capacitieve koppeling tussen de eerste en de tweede gate-elektrode beperkt te houden is het gunstig wanneer het derde gebied een lengte van meer dan 300 nanometer heeft, bij verdere voorkeur meer dan 1000 nanometer. Als gate-elektroden kunnen ook nanodraden toegepast worden.

25 Het is een vierde doel van de uitvinding om werkwijzen te verschaffen waarmee nanodraden volgens de uitvinding vervaardigbaar zijn.

Dit doel is gerealiseerd in een werkwijze voor het vervaardigen van nanodraden met behulp van katalytisch groeien, waarbij het tweede gebied gegroeid wordt bij een hogere temperatuur dan het eerste en het derde gebied.

30 Het doel is tevens gerealiseerd in een werkwijze voor het vervaardigen van nanodraden volgens de uitvinding, omvattende de stappen van:

het aanbrengen van een patroonmatig etsmasker aan een oppervlak van een halfgeleidersubstraat;

het etsen van het halfgeleidersubstraat onder vorming van nanodraden in de richting
substantieel loodrecht op het oppervlak, waarbij het halfgeleidersubstraat geëst wordt in een
eerste, een tweede en een derde laag corresponderend met het eerste, het tweede en het derde
gebied van de nanodraden onder verschillende omstandigheden, en

5 het verwijderen van de nanodraden van het halfgeleidersubstraat.

Gevonden is dat nanodraden volgens de uitvinding vervaardigbaar zijn door de
omstandigheden tijdens het groeien danwel tijdens het etsen aan te passen zodanig dat er in
het tweede gebied meer materiaal wordt afgezet of minder materiaal wordt weggeëst. De
kinetiek van deze processen kan op op zich bekende wijze worden ingesteld, in het bijzonder
10 door aanpassing van de concentraties van bepaalde stoffen of tussenprodukten, door
aanpassing van de temperatuur, en in een elektrochemisch proces door aanpassing van de
potentiaal. Voor het groeien met een 'Vapour-Liquid-Solid' proces, dat de vakman op zich
bekend is, is het in het bijzonder gunstig om de temperatuur te gebruiken voor het aanpassen
van de omstandigheden. Bij het etsen kan gebruikt gemaakt worden van reactieve ion etching,
15 droog etsen en anodisch etsen. Een werkwijze voor het vervaardigen van nanodraden met
behulp van anodisch etsen is beschreven in de niet-voorgepubliceerde aanvraag
EP02075950.2 (NL020199), die hierbij door referentie is ingesloten.

Indien behalve een geometrische variatie van de diameter tevens een
materiaalkundige variatie van de nanodraad gewenst is, heeft het de voorkeur om deze te
20 vervaardigen door een halfgeleidersubstraat te etsen met behulp van reactieve ion etching of
droog etsen. Het is dan noodzakelijk, dat een halfgeleidersubstraat gekozen is, waarin lagen
met de gewenste samenstelling en/of dotering aangebracht zijn, danwel dat substantieel uit
dergelijke lagen is opgebouwd. Dergelijke lagen kunnen bijvoorbeeld in een
halfgeleidersubstraat aangebracht worden met behulp van epitaxiale groei.

25

Deze en andere aspecten van de nanodraad en de elektronische inrichting volgens de
uitvinding zullen nader toegelicht worden aan de hand van tekeningen en niet-limitatieve
uitvoeringsvormen, waarin:

30 Fig. 1 een nanodraad toont en

Fig. 2 een elektronische inrichting met een nanodraad toont.

Fig. 1 toont een nanodraad 10 volgens de uitvinding met een eerste gebied 1, een tweede gebied 2 en een derde gebied 3. Daarbij is de diameter c van het tweede gebied 2 groter dan de diameters a van het eerste en het derde gebied 1,3. Dit onderbreekt ten minste gedeeltelijk de kwantisatie van de nanodraad 10 en geeft aan het tweede gebied 2 een kleinere bandgap. Het tweede gebied 2 heeft een lengte b in axiale richting van bij voorkeur minder dan 100 nm, bij verdere voorkeur van minder dan 20 nm. De nanodraad 10 kan toegepast worden in een elektronische inrichting 100, zoals getoond in Fig.2, waarbij de nanodraad 10 zich bevindt tussen een eerste en een tweede elektrode 101,102. Het geheel kan daarbij onder meer een single-electron transistor, een quantum dot geheugen, een optoelectronisch element vormen.

uitvoeringsvoorbeeld 1

Op een halfgeleidersubstraat van silicium met een geoxideerd oppervlak is een dunne goudlaag van 0.5-3 nm aanwezig. Dit halfgeleidersubstraat wordt geplaatst in een kwartsbuis aan een eerste uiteinde van een oven. Een vast target van InP wordt geplaatst aan een tweede uiteinde van de oven, en wel zo, dat geablateerd InP met de gasstroom meegevoerd kan worden naar het substraat. De oven wordt geëvacueerd tot minder dan 10 Pa. Vervolgens wordt de druk ingesteld op $3 \cdot 10^{-4}$ Pa met een Ar stroom van 100-300 sccm. De oven wordt verhit tot 500 °C. Hierbij breekt de goudlaag open en vormt clusters op nanometerschaal. Bij deze temperatuur wordt het target geablateerd met een ArF laser met een golflengte van 193 nm. Dit leidt tot het groeien van nanodraden 10 van InP onder katalyse van de Au-clusters. De verkregen nanodraden bevatten een eerste gebied 1, een tweede gebied 2 en een derde gebied 3.

Na het groeien van het eerste gebied 1 van de nanodraad 10 met een lengte van 200 nm - in het algemeen 100 tot 1000 nm - en een diameter van 10 nm wordt de temperatuur verhoogd tot 550-600 °C. Het gevolg hiervan is dat er meer InP oplost in de Au clusters, waardoor het volume van de clusters toeneemt. Dit heeft tevens als gevolg dat de draad die gegroeid wordt, breder wordt. Aldus wordt het tweede gebied 2 gevormd met een diameter van 15 tot 50 nm. De diameter van het eerste gebied neemt echter niet toe, door toepassing van een hogere laserpulsfrequentie. Na een tijdsduur van 10-60 seconden wordt de temperatuur weer verlaagd tot 500 °C. Bij deze temperatuur wordt een derde gebied 3 van de nanodraad 10 gegroeid tot een nanodraad 10 met een totale lengte van ongeveer 200 tot 2000 nm ontstaan is. Het resultaat is een nanodraad met een vorm zoals getekend in Fig. 1, met de diameter van het eerste en derde gebied (a) gelijk aan 10 nm, de lengte in axiale richting van

het tweede gebied (b) gelijk aan 15 nm en de diameter van het tweede gebied (c) gelijk aan 15-50 nm. De lengte van het eerste en derde gebied, die in dit voorbeeld 100 nm is, kan indien gewenst groter gekozen worden tot in de orde van micrometers.

5 uitvoeringsvoorbeeld 2

Au-clusters worden op overeenkomstige wijze als in uitvoeringsvoorbeeld 1 gevormd op een substraat. Vervolgens worden silicium nanodraden gegroeid door chemical vapour deposition bij 450 °C in een atmosfeer van 3 cm³ STP per minuut silaan en 100 ppm fosfine in 18 cm³ STP per minuut He. Nadat aldus een draad van 100-1000 nm gegroeid is, wordt de
10 temperatuur verhoogd tot 500 °C. Het gevolg hiervan is dat er meer Si oplost in de Au clusters, waardoor het volume en dus de diameter van de clusters toeneemt. Het resultaat hiervan is een plaatselijke verbreding van de draad tot 15-50 nm en aldus vorming van het tweede gebied. Na 10-60 seconden wordt de temperatuur weer verlaagd tot 450 °C. Bij deze temperatuur wordt de draad verder gegroeid tot een nanodraad met een totale lengte van 200-
15 2000 nm ontstaan is.

uitvoeringsvoorbeeld 3

Op een halfgeleidersubstraat wordt een fotogevoelige dubbellaag aangebracht, bestaande uit een 400 nm dikke onderlaag van een hardbaked Shipley AZ S1813 met een 80
20 nm dikke toplaag van een negatieve siliconen bevattende e-beam resist. Deze wordt met behulp van straling (e-beam, 100 kV, 100 µC/cm²) in patroon gebracht, waarbij geïsoleerde gebieden gedefinieerd worden. Deze geïsoleerde gebieden hebben een doorsnede van 50 bij 50 nm en staan op een onderlinge afstand van 1.0 µm. De toplaag wordt ontwikkeld, gevolgd door te dippen in isopropylalcohol. Daarna wordt het patroon anisotroop overgebracht van de
25 toplaag naar de onderlaag door een 0,3 Pa zuurstofplasma ets bij een lage rf vermogensdichtheid van 0,07 W/cm² bij een dc bias van -170 V.

Vervolgens wordt het halfgeleidersubstraat geëtsd in een richting substantieel loodrecht op het oppervlak. Dit gebeurt door droog etsen met een inductief gekoppelde plasma (ICP) setup, waarbij alternerend een etsstap en een passivatiestap worden uitgevoerd.
30 De behandeling is rf gestuurd (13,56 MHz). Voor de etsstap wordt als gasmengsel SF₆/O₂/C₄F₈ gebruikt. Standaard is daarbij de SF₆ gasstroom 130 sccm, de O₂ gasstroom 13 sccm en de C₄F₈ gasstroom 40 sccm bij een druk van ongeveer 2 Pa. Voor de passivatiestap wordt C₄F₈ als gas gebruikt bij een gasstroom van 140 sccm. De standaard duur voor een etsstap en een passivatiestap bedraagt 8 seconden.

Het etsen gaat grofweg in drie stadia. In het eerste stadium wordt een porie geëtsd waarvan de diameter toeloopt. Dit wordt bereikt door de etsstap korter of minder intensief uit te voeren dan de passivatiestap. Het resultaat is daarvan dat tijdens de etsstap de tijdens de passivatiestap aangebrachte passivatielaag slechts in de put van de porie geheel verwijderd wordt. Aan de wanden van de porie blijft een gedeelte van passivatielaag behouden, en wordt dus passivatielaag op passivatielaag gedeponerd. Dit heeft het gevolg dat de porie steeds smaller wordt.

In het tweede stadium is de etsstap intensiever en/of langer dan de passivatiestap. Dit heeft het gevolg, dat de put van de porie verbreed wordt, tot ongeveer de oorspronkelijke diameter.

In het derde stadium zijn de etsstappen en de passivatiestappen zeer kort. Dit heeft als doel, dat de versmalling van de porie oftewel de uitstulping van de wand niet of niet navenant wordt weggeëtsd. De grote hoeveelheid aan korte ets- en passivatiestappen hebben als gevolg dat de uitstulping wordt ingebed in de passivatielaag. In de put van de porie wordt echter de passivatielaag telkens geheel verwijderd met als resultaat isotroop etsen.

Het halfgeleidersubstraat wordt geëtsd tot een diepte van ongeveer 0,5 micrometer en leidt tot nanodraden. De genoemde uitstulping van de wand vormt het tweede gebied met een grotere diameter. Hierna wordt het substraat in een zuurstofhoudende atmosfeer verhit tot ongeveer 850 °C gedurende 2 uur. Dit heeft als resultaat dat het silicium thermisch oxideert. Vervolgens wordt het halfgeleidersubstraat geplaatst in een bad met waterstoffluoride in een concentratie van ongeveer 5 mol per liter. Om de samenstelling van het bad constant te houden wordt er stroming in het bad aangelegd. Het resultaat is dat de nanodraden in het eerste en het derde gebied een diameter van 10 nm verkrijgen. In het tweede gebied, waar de aanvangsdikte groter was, is de dikte na deze behandeling nog steeds groter. Het halfgeleidersubstraat met de nanodraden wordt geplaatst in een bad van ethanol. Dit bad wordt geplaatst in een ultrasoon-apparaat. Met behulp van ultrasoontrillen worden de nanodraden losgemaakt van het substraat.

De dispersie van de gevormde draden wordt aangebracht op een silicium substraat. Elektrische contacten werden in een dubbellaag van 2nm Ti en 10 nm Au fotolithografisch gedefinieerd met behulp van elektronenstraling (e-beam). Na het aanbrengen van de draden vond verhitting tot 400 °C plaats.

uitvoeringsvoorbeeld 4

Op een halfgeleidersubstraat met een n-type dotering (doteringsgraad 10^{19} atomen/cm³) wordt epitaxiaal een laag Si gegroeid met een p-type dotering. De dikte van de gegroeide laag bedraagt ongeveer 10-30 nm. Hierop wordt epitaxiaal een laag Si gegroeid met een n-type dotering. De dikte van de gegroeide laag bedraagt ongeveer 300 nm, in het algemeen tussen 100 en 1000 nm. Het resulterende substraat wordt onderworpen aan de patronering en de etsbehandeling als beschreven in uitvoeringsvoorbeeld 3. Nanodraden met een interne n-p-n junctie, waarbij het p-gebied een grotere diameter heeft zijn op deze wijze verkregen.

10 uitvoeringsvoorbeeld 5

Aan een oppervlak van een halfgeleidersubstraat wordt een etsmasker aangebracht. Het etsmasker heeft op regelmatige onderlinge afstand openingen met een diameter van 1,5 micrometer. Door het etsmasker heen worden met behulp van KOH-ets spitsvormige inkepingen gedefinieerd. Vervolgens wordt het halfgeleidersubstraat geplaatst in een anodische cel, het achteroppervlak van het halfgeleidersubstraat bevindt zich daarbij in een kaliumsulfatoplossing, zodat deze achterzijde elektrisch geleidend verbonden is met een anode. Het oppervlak van het halfgeleidersubstraat bevindt zich in een waterstoffluorideoplossing. Het substraat wordt anodisch geëst door de stroomdichtheid in te stellen op een waarde tussen 0,9 en 1 maal de piekstroombichtheid, zoals nader aangegeven in niet-voorgepubliceerde aanvraag EP02075950.2 (NL020199), die door referentie is ingesloten. Daarbij worden nanodraden gevormd. Door tijdelijk een lagere stroomdichtheid te gebruiken, ontstaat er een locale verbreding van de nanodraden.

uitvoeringsvoorbeeld 6

Figuur 2 toont een schematische doorsnede van een halfgeleiderelement 100, hetgeen een dunnefilmtransistor is. Op een substraat 110 van polyimide zijn een source elektrode 101 en een drain elektrode 102 aangebracht. De elektroden 101,102 bevatten bijvoorbeeld Au en zijn op lithografische wijze gedefinieerd. De elektroden 101,102 zijn onderling gescheiden door een kanaal 105, dat een dielektrisch materiaal bevat met bij voorkeur een lage dielektrische constante. Geschikte materialen zijn de vakman bekend, onder meer siliciumdioxide, hydrogen- en methylsilsesquioxane, poreus silica, SiLK, benzocyclobuteen. De keuze van het materiaal is mede afhankelijk van de substraatkeuze. Het oppervlak 111 van de elektroden 101,102 en het kanaal 105 is geplanariseerd, zodat nanodraden 10 zich bevinden op een in wezen vlak oppervlak 111. De nanodraden 10 zijn neergelegd en

uitgelijnd door een druppel van een dispersie met de nanodraden aan te brengen op het oppervlak 111, waarbij een spanning werd aangebracht. Door het aanlegde elektrische veld van 0,1-1 V/ μ m bij een frequentie van 0,1-10 kHz vond uitlijning van de nanodraden 104 plaats. Op de nanodraden 10 is een diëlektrische laag 106 aanwezig, welke de gate elektrode 103 scheidt van de nanodraden 10. Anderzins kan de uitlijning plaats hebben door een matrijs met kanalen aan te brengen op het oppervlak 111 en het geheel in een bad van de dispersie met nanodraden te plaatsen. Door met een drukverschil een stroom te induceren, worden de nanodraden in de kanalen van de matrijs gezogen. Dit leidt tot een positionering van uitgelijnde nanodraden 10.

10 Zoals de vakman duidelijk zal zijn, bevat een elektronische inrichting bij voorkeur een grote hoeveelheid aan halfgeleiderelementen 100, die volgens een gewenst patroon met elkaar verbonden zijn en een schakeling vormen. Opgemerkt is verder dat in een enkel halfgeleiderelement 100 één of een groot aantal nanodraden 10 aanwezig kunnen zijn en dat er voor substraat 110, elektroden 101, 102, 103 en diëlektrische lagen 105,106 verscheidene materialen gekozen kunnen worden, zoals aan de vakman op het gebied van
15 dunnefilmtransistoren bekend is.

CONCLUSIES:

1. Nanodraad met axiaal gerangschikt een eerste, een tweede en een derde gebied, waarin
het tweede gebied grenst aan het eerste en aan het derde gebied en in axiale richting een
lengte heeft van minder dan 100 nm; en
- 5 het tweede gebied een grotere diameter heeft dan het eerste en het derde gebied, in welk
eerste en derde gebied kwantisatie-effecten voorkomen.
2. Nanodraad volgens Conclusie 1, met het kenmerk dat het tweede gebied in axiale
richting een lengte van minder dan 20 nm heeft.
- 10 3. Nanodraad volgens Conclusie 1 of 2, met het kenmerk dat het eerste en derde gebied
in radiale richting een gemiddelde diameter van ten hoogste 10 nm hebben.
4. Nanodraad volgens Conclusie 3, met het kenmerk dat het tweede gebied een
- 15 maximale diameter van ten hoogste 50 nm heeft.
5. Nanodraad volgens Conclusie 1, met het kenmerk dat het eerste gebied n-type
gedoteerd is en het tweede gebied p-type gedoteerd.
- 20 6. Nanodraad volgens Conclusie 1, met het kenmerk dat een vierde en een vijfde gebied
aanwezig zijn, welk vierde gebied in axiale richting is ingesloten door het derde en het vijfde
gebied, en in axiale richting een lengte heeft van minder dan 100 nm, en welk vierde gebied
structureel verschilt van het derde en het vijfde gebied, zodat een kleinere bandgap heeft.
- 25 7. Elektronische inrichting voorzien van een eerste en een tweede elektrode, die
onderling verbonden zijn met ten minste één nanodraad, met het kenmerk dat de nanodraad
volgens één van de Conclusies 1-6 aanwezig is.

8. Elektronische inrichting volgens Conclusie 7, met het kenmerk dat de nanodraad volgens Conclusie 6 aanwezig is, en dat een eerste en een tweede gate elektrode aanwezig zijn, waarbij een loodrechte projectie van de eerste gate elektrode op de nanodraad overlapt met het tweede gebied en een loodrechte projectie van de tweede gate elektrode op de nanodraad overlapt met het vierde gebied.
9. Werkwijze voor het vervaardigen van nanodraden volgens Conclusie 1 met behulp van katalytisch groeien, waarbij het tweede gebied gegroeid wordt bij een hogere temperatuur dan het eerste en het derde gebied.
10. Werkwijze volgens Conclusie 9, met het kenmerk dat de werkwijze de stappen omvat van:
- het groeien van de eerste gebieden van de nanodraden bij een eerste groeitemperatuur;
 - het groeien van de tweede gebieden van de nanodraden bij een tweede groeitemperatuur, die hoger is dan de eerste groeitemperatuur; en
 - het groeien van de derde gebieden van de nanodraden bij een derde groeitemperatuur, die lager is dan de tweede groeitemperatuur.
11. Werkwijze voor het vervaardigen van nanodraden volgens één van de Conclusies 1-6, omvattende de stappen van:
- het aanbrengen van een patroonmatig etsmakser aan een oppervlak van een halfgeleidersubstraat;
- het etsen van het halfgeleidersubstraat onder vorming van de nanodraden in de richting substantieel loodrecht op het oppervlak, waarbij de etssnelheid gereduceerd wordt onder vorming van het tweede gebied met een bredere diameter; en
- het verwijderen van de nanodraden van het halfgeleidersubstraat.
12. Dispersie van nanodraden volgens één der Conclusies 1-6 in een dispergeermiddel.

ABSTRACT:

The nanowire (10) contains a first region (1), a second region (2) and a third region (3), wherein the diameter (c) of the second region (2) is larger than the diameters (a) of the first and the third region (1,3), therewith interrupting at least partially the quantisation of the nanowire (10) and giving the second region a smaller bandgap. The second region (2) has a
5 length (b) in axial direction of less than 100 nm, preferably less than 20 nm. The nanowire (10) can be used in an (opto-)electronic device having electrodes as a quantum dot, a single-electron transistor or the like.

Fig. 1

14020200

Fig 1

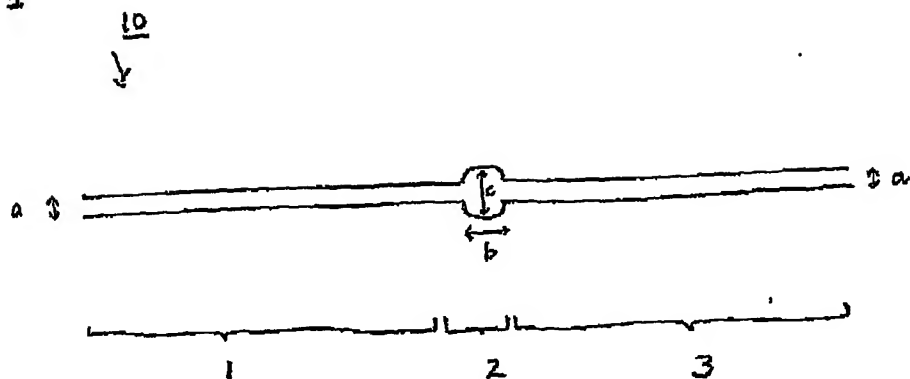
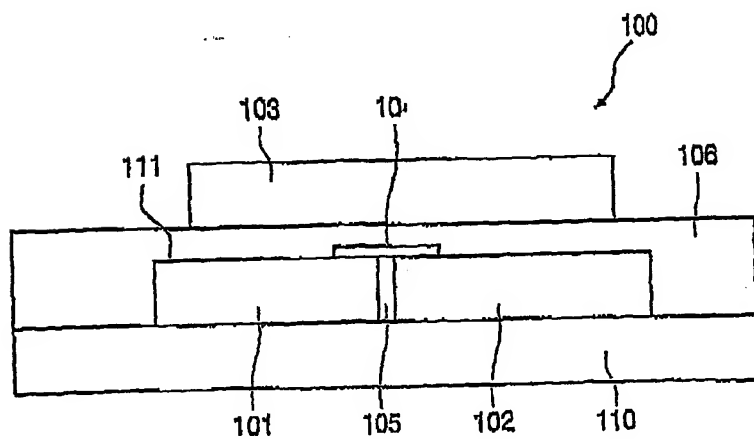


Fig 2



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.